

## | Aims & Scope

The Korean Society of Physical Therapy (KSPT) engages and inspires an international leadership in Asia on issues associated with physical therapy. As the leading journal for research in physical therapy and other fields related to rehabilitation science, KSPT publishes highly qualified scientific topic for clinicians and researchers, with the expressed purpose of improving therapeutic approaches for health and life quality of human. The Journal of Korean Physical Therapy (J Kor Phys Ther) is published bimonthly from 1989, and it is open access journal, consequently, articles are free for all users to read and use. This journal is indexed in KCI (<http://kci.go.kr>), ScienceCentral (<http://e-sciencecentral.org>), Google Scholar (<http://scholar.google.com>) and CrossRef (<http://crossref.org>). KSPT invites research papers and a limited number of reviews in the field of musculoskeletal, neurological, pediatric, geriatric, electrophysiologic physical therapy. Although special research areas are emphasized for publication, articles dealing with other rehabilitation science will also be welcomed.

All of the articles of this journal could be accessed in our website (<http://www.kptjournal.org>). For subscription, submission and all other information, visit our website (<http://www.kptjournal.org>).

This work was supported by the Korean Federation of Science and Technology Societies (KOFST) grant funded by the Korean government.

---

**Publisher:** Seung-Kyu Park

**Editor-in-Chief:** Yong-Hyun Kwon

**Published by The Korean Society of Physical Therapy**

Department of Physical Therapy, School of Public Health, Sehan University,  
1113 Noksaek-ro, Samho-eup, Yeongam-gun, Jeollanam-do 58447, Korea  
E-mail: [office@kptjournal.org](mailto:office@kptjournal.org) / Homepape: [www.kpt.or.kr](http://www.kpt.or.kr)

**Printed by Academya Publishing Co.**

#2003, Daeryung Technotown 15-cha, 401 Simin-daero, Dongan-gu, Anyang 14057, Korea  
Tel: +82-31-389-8811 / Fax: +82-31-389-8817 / E-mail: [journal@academya.co.kr](mailto:journal@academya.co.kr)

# The Effects of Functional Electrical Stimulation Combined with Action Observation on Sensorimotor Cortex

Ji Young Kim<sup>1</sup>, Ji Won Park<sup>1</sup>, Seong Yoel Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu, Gyeongsan; <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Kyungnam University, Changwon, Korea

**Purpose:** Functional electrical stimulation (FES) is a device that activates the sensorimotor cortex through electrodes attached to the surface of the skin. However, it is difficult to expect positive changes if the recipient is not attentive to the motion. To complement the perceived cognitive limitations of FES, we attempted to investigate the changes of sensorimotor cortex activity by simultaneously providing action observation with FES.

**Methods:** Electroencephalogram was measured in 28 healthy volunteers. Relative band power over the sensorimotor cortex was analyzed and compared in three conditions: during rest, during FES alone, during action observation with FES.

**Results:** The results showed significant differences in each relative band power. Relative alpha power and relative beta power were the lowest by application of FES combined with action observation, while the relative gamma power was the highest.

**Conclusion:** These results suggest that combining FES with observation could be more effective than FES alone in neurorehabilitation.

**Keywords:** Functional electrical stimulation, Action observation, Electroencephalography, Relative band power

## 서론

기능적전기자극(Functional electrical stimulation, FES)은 피부표면에 부착된 전극을 통해 마비된 신경 혹은 근육을 직접적으로 자극하고 수축을 유발시키는 치료적 장비로써,<sup>1</sup> 외부적 자극을 통해 중추신경계 손상 환자의 감각운동시스템을 활성화 시키고 장애(disability)를 감소시키기 위한 수단으로 활용되고 있다.<sup>2,5</sup> FES를 활용한 운동기능의 회복은 척수의 앞쪽 뿌리로부터 말단 근육까지의 신경연결에 문제가 없다면 전기적 자극을 통하여 마비된 근육의 수축을 유발시킴으로써 가능해진다.<sup>6</sup> 활성전극과 비활성전극을 운동점 가까이에 위치하게 하고, 짧은 지속시간(<1 ms), 지속전류(constant-current) 자극을 적용하면 신경막(nerve membrane)에서 탈분극이 발생되어 활동전위가 유발되게 된다. 이러한 전기적 흥분 신호는 편심성 신경로를 통해 신경세포에 의해 지배되고 있는 근육을 직접적으로 활성화시켜 근수축을 유발시키게 된다. 이와 동시에 동심성 신경로를 통해 활동전위가 척수에 전달되고 사이신경원(interneurons)이 대뇌피질로 전기적 신호를 연결시키게 된다.<sup>1</sup> 이러한 과정을 통해 기능적전기자극

이 뇌 가소성 회복에 긍정적 영향을 미치게 되는 것이다.<sup>4</sup>

최근에는 FES가 기능회복에 미치는 영향에 대해 움직임 관련 피질 전위(movement-related cortical potentials) 등과 같은 EEG 신호의 분석을 통해 증명하려는 연구가 진행되고 있다.<sup>4</sup> 그 결과, FES의 적용이 피질-척수로 연결 강화를 통해 중추신경계 병변으로 인한 기능제한이 있는 환자의 감각운동피질 변화를 유발하는 것으로 나타났다. 또한 정상성인에게는 감각운동피질 활성이 훨씬 더 많이 나타나는 것으로 보고되고 있다.<sup>7</sup> 이를 근거로 FES가 감각운동 기능을 회복하기 위한 방법으로 활용될 수 있음이 제안되고 있기도 하다.<sup>1</sup>

임상에서 FES를 제공받는 대상자들은 전기적 자극으로 발생하는 보조를 통해 기능적 움직임을 연습하게 된다. 그러나 이는 대상자가 집중을 기울여 능동적으로 참여하지 않는다면 목적이 있는 움직임이나 기능적 과제를 수행하는 능력을 증진시키기는 어렵다는 제한점을 가지고 있다.<sup>8,9</sup> 더욱이 뇌 손상 환자는 정상 성인에 비해 감각운동 피질의 활성이 저하된 상태로 나타나게 되는데,<sup>7</sup> 해당 움직임에 대해 주의를 기울이지 않는다면 뇌 활성화에 대한 긍정적 변화를 기대하기 어렵다. 이러한 부분에 대한 보완책으로 FES를 제공하면서 동시에 인

Received Jul 5, 2017 Revised Jul 31, 2017

Accepted Aug 14, 2017

Corresponding author Ji Won Park

E-mail mylovept@hanmail.net

Copyright ©2017 The Korea Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지적 요인을 자극을 위한 방법이 연구되고 있으나,<sup>9-11</sup> 아직까지 이에 대한 신경생리학적인 연구는 부족한 실정이다.

뇌는 수백억 개의 신경세포로 구성되어 있고, 연결 되어진 상호작용을 통한 흥분성 변화는 전위(electric potential) 차이를 유발하게 된다. 이러한 전기적 활동을 기록하기 위한 비침습적인 방법이 EEG (electroencephalogram)이고, 뇌의 활동 상황을 측정하는 지표로 활용되고 있다.<sup>12</sup> 알파밴드(8-13 Hz)는 집중, 기억, 지각과 같은 인지적 과정의 처리와 움직임 수행이 요구되어 질 때의 대뇌 피질 활성화와 밀접한 관련을 가지고 있다.<sup>7</sup> 베타밴드(14-30 Hz)는 정신적 활동 및 집중과 관련된 주파수 대역으로 주의적 움직임의 계획 및 실행과 연관되며,<sup>13</sup> 감마밴드(31-50 Hz)는 집중과 기억과 같은 인지적 기능과 관련이 깊은 주파수 대역으로<sup>7,14</sup> 움직임의 생산과 가장 밀접한 관련을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>14</sup>

동작관찰(action observation)은 실제로 신체를 움직이지 않고 제시되는 영상을 통해 움직임을 관찰하면서 상상을 수행하는 것을 기본 토대로 하고 있는 훈련방법으로,<sup>15,16</sup> 지금까지 연구가 EEG를 통해 진행된 결과, 동작실행(execution)시에 활성화 되는 감각운동피질(somatosensory cortex)이 동작관찰시에도 동일한 패턴의 변화를 나타내는 것으로 보고되고 있다.<sup>17-19</sup> 이에 신체적 기능의 회복을 위한 중재법으로 적용된 결과 긍정적 효과를 증명한 여러 연구들이 발표된 바 있다.<sup>20-22</sup>

본 연구에서는 FES가 가진 인지적 측면에서의 제한점을 보완하기 위한 방법으로 동작관찰을 동시에 제공함으로써 나타나는 감각운동피질 활성의 변화를 분석하고, 이를 바탕으로 뇌 가소성 증진을 위한 효과적인 FES 제공 방안을 찾고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 건강한 20/30대(평균 25±3) 성인 28명을 대상으로 하였다. 모든 대상자는 신경학적 질환의 병력이 없는 신체적으로 건강한 자, 정상이거나 정상으로 교정된 시력을 지닌 자, 오른손잡이인 자로 제한되었으며, 연구의 목적 등에 관한 구체적 설명을 들은 이후에 자발적으로 참여하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 뇌파측정기

24채널 전산화 무선뇌파측정기 Neurofax EEG-1200 (Nihonkoden corporation, Tokyo, Japan)를 이용하여 실험이 진행되는 동안 뇌 진동을 측정하였다. 전극은 '국제 10-20 전극 시스템(international 10-20 electrode system)'에 의해 Nz, A1, A2, Fp1, Fp2, C3에 부착되었고, C3의

주변전극인 C1, C5, FC3, PC3에도 부착하였다. 본 연구에서는 오른손의 움직임을 관찰하는 자극만을 적용하였기 때문에 반대측 운동피질인 C3 영역의 데이터만 분석에 이용하였고, Laplacian algorithm에 의거하여 C3를 활성전극으로 설정하고 주변 전극 C1, C5, FC3, PC3의 평균전위를 비활성전극으로 설정하는 AV delete 전극유도를 통해 전위의 차이가 계산되었다.<sup>3</sup> 샘플링 주파수 200 Hz, 민감도 10  $\mu$ V, 시간 상수 0.3초, 고주파 여과 60 Hz, 저항은 10 k $\Omega$  이하로 유지시켰고, 뇌파 기록은 잡파(artifacts)의 혼입없이 안정된 뇌파가 60초 이상 지속되어질 때 시작되었다. 측정된 뇌파는 biosignal amplifier (Neuropack-MEB-2200, NihonKoden, Japan)를 통해 12-bit AD 변환된 후 컴퓨터에 저장되었고, 매 7초 동안의 자극 중 제시된 시점에 대해 처음 1s와 마지막 1s를 제외한 5초 단위로 추출되어 분석에 이용되었다.

#### 2) 기능적전기자극기

전기적 자극의 적용은 기능적전기자극기 Microstim (MedelGmBH, Berlin, Germany)을 사용하였고 임상에서의 효과적인 적용을 고려하여 손목관절 펌근에 자극을 적용하였다.<sup>23</sup> 알코올을 적신 솜으로 아래팔을 깨끗이 한 후 2개의 전극을 오른쪽 손목관절 펌근의 근복 가까운 부위에 이극배치법(bipolar placement)으로 부착하였고, 자극주파수 30 Hz, 맥동기간 300  $\mu$ s, 위상성 지속 전류(biphasic constant current)로 설정하여 제공하였다.<sup>6</sup> 전류강도는 사전 테스트를 통해 측정되어진 대상자가 편안한 상태로 손목관절 펌 동작을 수행하는 각도와 비슷한 수준으로 유발되는 강도(10-18 mA)로 설정하였다. 각 자극은 통전시간 5초, 경사증가 및 감소시간 각 1초로 총 7초 동안 지속되었다.

#### 3) 동작관찰영상

영상 자료는 과제를 수행하는 손(hand)의 움직임을 고해상도 디지털 캠코더로 녹화한 후 편집하여 사용되었다. 전방에 위치한 컵을 잡기 위한 손동작 영상이 제공되었는데, 실제적 움직임의 속도보다 느리게 제공되었다. 이는 컵을 잡기 전 선행되어야 하는 손목관절 펌 동작에 포커스를 맞추기 위함이었으며, 모든 대상자는 실험 시작 전 손목관절 펌 동작에 집중하여 동작관찰 할 것을 지시 받았다. FES가 제공되는 시점과 손목관절 펌 동작이 강조된 영상이 제공되는 시점은 동일하게 설정되었고, 각 영상은 7초동안 재생되었다.

#### 4) 실험과정

모든 대상자들은 조명이 어두운 조용한 방(room)에 들어가 적응시간을 가지면서 실험에 대한 설명을 들었다. 등(back)을 의자에 기대고 앉아 가장 편안한 자세를 취한 후, 책상에 팔을 올려놓고 실험이 진행되는 동안에는 움직이지 않을 것을 지시 받았다.

휴식, FES 그리고 FES와 동작관찰이 동시에 제공되는 동안 EEG가 측정되었다. 휴식시와 FES를 제공받는 동안에는 움직임의 상상 없이 모니터에 시선을 고정시키고 있을 것을 지시 받았고, FES와 동작관찰이 동시에 제공되는 동안에는 모니터에 나타나는 손을 대상자의 손이라 상상하며 실제적 움직임 없이 따라 하라고 지시하였다.

### 3. 자료분석

각 주파수 성분이 차지하고 있는 비율을 분석하기 위해 파워스펙트럼(power spectrum) 분석을 실시하였다. 그러나 개인의 편차를 줄이고 보정하기 위해 진폭값을 제곱(squaring) 처리하고 절대파워(absolute band power)로 변환한 값을 산출하여 상대파워를 비교하였다. 연구목적에 따라 상대알파파(8-13 Hz/4-50 Hz), 상대낮은베타파(14-20 Hz/4-50 Hz), 상대높은베타파(21-30 Hz/4-50 Hz), 상대감마파(31-50 Hz/4-50 Hz)로 나누어 분석을 실시하였다. 각 조건에 따른 비교분석을 위해 반복측정 분산분석을 실시하였고 사후검정은 bonferroni를 이용하였다.

모든 분석은 통계 분석 프로그램인 SPSS for Window 20.0을 이용하여 분석하였고, 통계학적 유의수준 p는 0.05로 정하였다.

### 결 과

각 조건에 따른 상대파워의 차이를 알아보기 위해 반복 측정된 분산 분석 결과, 모든 주파수 파워 대역에서 증감되는 유의한 차이가 나타났다(p < 0.01) (Table 1).

Bonferroni방법을 이용한 사후검정결과 상대알파파와 상대감마파워가 각 조건 간 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.05). 상대알파파와

는 FES와 동작관찰과 결합된 FES의 제공에 의해 감소되는 변화를 나타낸 반면, 상대감마파워는 증가되는 변화를 나타내었다. 상대낮은 베타파워는 동작관찰과 결합된 FES를 제공할 시에만 감소되는 유의한 차이를 나타내었고(p < 0.05), 휴식시와 FES 적용시간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다(p > 0.05). 상대높은베타파워는 FES적용시와 동작관찰과 결합된 FES 적용시간에만 감소되는 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.05) (Table 1).

### 고 찰

본 연구는 FES를 제공하는 동안에 해당 신체분절에 대한 인지적 요인을 증가시킬 목적으로 동작관찰과 결합하여 FES를 하였고 감각운동피질의 활성을 상대파워 비교를 통해 분석하였다. 그 결과 상대알파파워, 상대낮은베타파워, 상대높은베타파워, 상대감마파워를 포함하는 모든 주파수 영역에서 각 조건간에 유의한 차이를 나타내었다(p < 0.01).

상대알파파워는 휴식시에 비해 FES 적용 시 유의한 감소가 나타났고 특히, 동작관찰과 동시에 FES를 적용할 시 가장 약화되는 유의한 차이를 나타내었다. Muthukumaraswamy 등<sup>24</sup>은 알파밴드와 동일한 주파수 영역을 가진 무리듬(Mu rhythm)이 집중, 기억 등과 같은 정신적 과제의 처리과정 시에는 파워가 증가하는 반면, 움직임의 실행 혹은 관찰에 의해서는 파워가 감소된다고 보고하였고, Perry와 Bentin<sup>25</sup>은 몸감각자극 입력의 증가에 의해서도 알파밴드 파워 약화가 나타난다고 보고한 바 있다. 특히 Reynolds 등<sup>10</sup>은 FES적용 시 알파밴드의 비동기화가 나타났다고 하였고, 더욱이 운동상상을 하는 동안 FES를 결합하여 제공한 결과 단독적으로 FES를 적용할 시에 비해 더 강한 알파밴드 비동기화가 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서 나타난 상대알파파워의 유의한 감소는 FES를 통해 전달되는 동심성 자극과 동작관찰을 통해 활성화된 편심성 자극이 동시에 감각운동피질을 활성화시킨 결과라고 추측된다.<sup>7</sup>

상대낮은베타파워와 상대높은베타파워 두 주파수 영역 모두에서 단독적으로 FES를 적용할 시에 비해 동작관찰과 동시에 FES를 적용할 시 감소되는 유의한 차이가 나타났다. Houdayer 등<sup>13</sup>은 베타파워가 근육, 관절 그리고 피부로부터의 감각입력을 처리하는 피질활동을 반영한다고 하였고 신체감각자극이 매우 중요한 역할을 담당하고 있다고 주장하였고, 알파밴드와 마찬가지로 움직임의 실행 혹은 관찰에 의해 파워가 감소되는 특징을 가지고 하였다. 본 연구는 선행 연구와 유사하게 파워가 감소되는 결과를 보여주었다. 그러나 주목할 만한 점은 휴식시에 비해 FES를 단독적으로 적용할 시에는 유의한 차이가 나타나지 않았다는 것이다. Muthukumaraswamy와 Johnson,<sup>24</sup> Pfuertscheller 등<sup>26</sup>은 알파밴드와 베타밴드의 진동활동이 몸감

**Table 1.** Comparison of relative band power according to each conditions (N=28)

	Condition	RBP	F	p	Post-hoc
Alpha	Rest (a)	0.31±0.08 <sup>a</sup>	69.08	<0.001 <sup>*</sup>	a/b/c
	FES (b)	0.21±0.08			
	FESAO (c)	0.17±0.07			
Low Beta	Rest (a)	0.15±0.03	13.465	<0.001 <sup>*</sup>	ab/c
	FES (b)	0.14±0.04			
	FESAO (c)	0.10±0.05			
High Beta	Rest (a)	0.30±0.04	7.500	<0.001 <sup>*</sup>	b/c
	FES (b)	0.33±0.09			
	FESAO (c)	0.28±0.07			
Gamma	Rest (a)	0.10±0.05	50.801	<0.001 <sup>*</sup>	a/b/c
	FES (b)	0.23±0.12			
	FESAO (c)	0.40±0.19			

RBP: relative band power, FESAO: condition of FES and action observation.

\*p < 0.05, <sup>†</sup>p < 0.01.

<sup>a</sup>mean ± standard deviation.



각자극 및 시각자극과 같은 감각운동과제와 밀접하게 연관되어 나타난다고 보고하였지만, Houdayer 등<sup>13</sup>은 베타밴드의 진동활동 변화가 감각운동영역의 시공간적(visuo-spatial) 정보통합과 더욱 밀접한 관련을 가지고 있다고 보고하였다. 본 연구의 결과는 상대베타파워가 동작관찰이라는 시각적 정보의 유입과 동시에 이루어진 동작상상이 FES가 단독적으로 제공될 시에 비해 감각운동영역의 활성을 증가시켰다는 것을 간접적으로 보여주는 결과라고 추측된다. 또한 이는 대상자가 집중을 기울이지 않는 전기적 자극을 통한 신체적 움직임은 정보통합과정과 관련된 베타밴드 활성화에 영향을 미치지 못한다는 것을 보여주는 것이라 판단된다. 또한 상대낮은베타파워는 휴식시와 비교해 동작관찰과 동시에 FES가 적용될 시 감소되는 유의한 차이가 나타났지만, 상대높은베타대역에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 두 주파수가 가지는 특성에 의한 차이에서 기인한 것으로 추측된다. 상대낮은베타파워(14-20 Hz)는 집중과 같은 정신적 활동과 강한 관련을 가지고 있는 것으로 알려지고 있고, 신체 움직임과 연관되어 연구가 활발히 되고 있는 주파수 영역이다.<sup>7</sup> Houdayer 등<sup>13</sup>은 13-25 Hz 대역의 베타파워만이 감각운동과제와 강한 관련성을 가지고 있다고 주장한 바 있다. 반면 상대높은베타파워(21-30 Hz)는 긴장, 흥분과 같은 스트레스 상태를 반영하는 것으로 추측되고 있는 주파수 대역으로<sup>27</sup> 동작관찰과 같은 정신적 활동과 신체적 움직임이 결합되어질 때와 같이 자극의 수준이 높을 때 변화가 나타내는 것으로 판단된다. 그러나 Muller 등<sup>6</sup>은 FES 적용만으로도 13-35 Hz의 베타밴드 비동기화 나타났음을 보고한 바 있다.

상대감마파워는 FES 적용 시, 동작관찰과 동시에 FES를 적용할 시 모두에서 증가되는 유의한 차이를 나타내었다. Muthukumaraswamy<sup>28</sup>는 움직임의 실행동안 감마밴드의 동기화가 나타난다고 보고하였으며, 알파밴드와 베타밴드의 변화보다 움직임 생산과 더 밀접한 관련이 있다고 주장하였다. 이를 바탕으로 감마파워가 운동과 관련된 기능적 변화의 지표가 될 수 있음을 보고한 바 있다. 본 연구에서 나타난 상대감마파워의 증가는 FES 적용에 의해 움직임의 발생 과정에서 나타난 것으로 보여지고, 동작관찰에 동시에 FES를 적용했을 시 파워가 가장 증가하여 나타난 것은 동작관찰이라는 인지적 과제의 수행과 FES를 통한 움직임의 발생이 결합되어져 나타난 결과라고 판단된다. 덧붙여 Schoffelen 등<sup>12</sup>은 공간에서의 시각적 집중(visual attention)이 이루어지는 동안에도 감마파워의 증가가 나타난다고 주장하였고 본 연구의 결과는 감마밴드가 가진 특성을 잘 반영한 결과라고도 판단된다.

본 연구는 FES 적용시 동작관찰을 동시에 제공함으로써 인지적 요인을 보완하기 위해 실시되었고, 감각운동피질의 활성변화가 상대파워를 통해 분석되었다. 그 결과 FES와 동시에 동작관찰을 제공할 시 모든 주파수 영역에서 유의한 변화를 나타내는 것을 확인하였다. 이

는 시간적으로 일치된 두 자극이 동시에 양방향으로 감각운동피질을 활성화 시킨 결과라고 추측되고, 뇌 가소성을 증대 시킬 수 있는 효과적인 FES 적용 방법이 될 것이라는 것을 시사한다고 생각된다.

## 참고문헌

1. Popovic DB. Advances in functional electrical stimulation (FES). *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(6):795-802.
2. Monaghan CC, Hermens HJ, Nene AV et al. The effect of FES of the tibial nerve on physiological activation of leg muscles during gait. *Med Eng Phys.* 2010;32(4):332-8.
3. Springer S, Vatine JJ, Wolf A et al. The effects of dual-channel functional stimulation on stance phase sagittal kinematics in patients with hemiparesis. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(2):476-82.
4. Shendkar CV, Lenka PK, Biswas A et al. Therapeutic effects of functional electrical stimulation on gait, motor recovery, and motor cortex in stroke survivors. *HKPJ.* 2015;33(1):10-20.
5. Vette AH, Wu N, Masani K, Popovic MR. Low-intensity functional electrical stimulation can increase multidirectional trunk stiffness in able-bodied individuals during sitting. *Med Eng Phys.* 2015;37(8):777-82.
6. Müller GR, Neuper C, Rupp R et al. Event-related beta EEG changes during wrist movements induced by functional electrical stimulation of forearm muscles in man. *Neurosci Lett.* 2003;340(2):143-7.
7. Machado DCD, Lima GC, Santos RS et al. Comparative analysis electroencephalographic of alpha, beta and gamma bands of a healthy individual and one with hemiparesis. *J Phys Ther Sci.* 2014;26:801-4.
8. Hummelshim H, Maier-Loth ML, Eickhof C. The functional value of electrical muscle stimulation for the rehabilitation of the hand in stroke patients. *Scand J Rehabil Med.* 1997;29(1):3-10.
9. Kim H, Lee G, Song C. Effect of functional electrical stimulation with mirror therapy on upper extremity motor function in poststroke patients. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2014;23(4):655-61.
10. Reynolds C, Osuagwu BA, Vuckovic A. Influence of motor imagination on cortical activation during functional electrical stimulation. *Clin Neurophysiol.* 2015;126(7):1360-9.
11. Park CS, Kang KY. The effects of additional action observational training for functional electrical stimulation treatment on weight bearing, stability and gait velocity of hemiplegic patients. *J Phys Ther Sci.* 2013;25:1173-5.
12. Schoffelen JM, Poort J, Oostenveld R et al. Selective movement preparation is subserved by selective increases in corticomuscular gamma-band coherence. *J Neurosci.* 2011;31(18):6750-8.
13. Houdayer E, Labyt E, Cassim F et al. Relationship between event-related beta synchronization and afferent inputs: analysis of finger movement and peripheral nerve stimulations. *Clin Neurophysiol.* 2006;117(3):628-36.
14. Fang Y, Daly JJ, Sun J et al. Functional corticomuscular connection during reaching is weakened following stroke. *Clin Neurophysiol.* 2009;120(5):994-1002.
15. Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V et al. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res.* 1996;3(2):131-41.
16. Fogassi L, Ferrari PE, Gesierich B et al. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science.* 2005;308(5722):662-7.

17. Babiloni C, Babiloni F, Carducci F et al. Human cortical electroencephalography (EEG) rhythms during the observation of simple aimless movements: a high-resolution EEG study. *NeuroImage*. 2002;17(2):559-72.
18. Puzzo I, Cooper NR, Cantarella S et al. Measuring the effects of manipulating stimulus presentation time on sensorimotor alpha and low beta reactivity during hand movement observation. *NeuroImage*. 2011;57(4):1358-63.
19. Oberman LM, McCleery JP, Ramachandran VS et al. EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*. 2007;70(13-15):2194-203.
20. Kim JS, Kim K. Clinical feasibility of action observation based on mirror neuron system on walking performance in post stroke patients. *J Phys Ther Sci*. 2012;24:597-9.
21. Zhu MH, Wang J, Gu XD et al. Effect of action observation therapy on daily activities and motor recovery in stroke patients. *International Journal of Nursing Sciences*. 2015;2(3):279-82.
22. Cha YJ, Yoo EY, Jung MY et al. Effects of mental practice with action observation training on occupational performance after stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2015;24(6):1405-13.
23. Divekar NV, John LR. Neurophysiological, behavioural and perceptual differences between wrist flexion and extension related to sensorimotor monitoring as shown by corticomuscular coherence. *Clin Neurophysiol*. 2013;124(1):136-47.
24. Muthukumaraswamy SD, Johnson BW, McNair NA. Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2004;19(2):195-201.
25. Perry A, Bentin S. Mirror activity in the human brain while observing hand movements: a comparison between EEG desynchronization in the mu-range and previous fMRI results. *Brain Res*. 2009;1282:126-32.
26. Pfurtscheller G, Brunner C, Schlögl A et al. Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *NeuroImage*. 2006;31(1):153-9.
27. Pfurtscheller G, Neuper C, Brunner C et al. Beta rebound after different types of motor imagery in man. *Neurosci Lett*. 2005;378(3):156-9.
28. Muthukumaraswamy SD. Temporal dynamics of primary motor cortex gamma oscillation amplitude and piper corticomuscular coherence changes during motor control. *Exp Brain Res*. 2011;212(4):623-33.